



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家级特色专业“通信工程”系列教材

移动通信 原理与系统

(第4版)

啜 钢 王文博 常永宇 编著
全庆一 高伟东



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

国家级特色专业“通信工程”系列教材

移动通信原理与系统

(第4版)

啜 钢 王文博 常永宇 全庆一 高伟东 编著

北京邮电大学出版社

·北京·

内 容 简 介

本书较详细地介绍了移动通信原理和实际的移动通信系统,主要分为两大部分:第一部分是移动通信的基本理论;第二部分是移动通信的系统组成。具体而言,首先介绍移动通信的传播环境、信道和传播预测模型,移动通信中的信源编码和调制技术以及抗衰落技术、链路增强技术等;其次介绍蜂窝移动通信组网的基本概念和理论;最后介绍 GSM 和 CDMA 系统、第四代移动通信 LTE 系统、第五代移动通信 5G 系统以及典型的业务应用。

本书力求兼顾移动通信的基础理论和应用系统,内容由浅入深,可供不同层次人员学习的需要。每章开头有学习指导,结束有习题和思考题。

本书可作为通信专业本科高年级教材,也可作为研究生和成人教育的教材,还可作为从事移动通信研究和工程技术人员的参考书。

北京邮电大学通信工程专业是教育部批准的第一批高等学校特色专业建设项目(TS2055),本系列教材的编写获得了该项目的资助,其目标是围绕该项目的建设,打造通信工程专业的精品教材。

图书在版编目(CIP)数据

移动通信原理与系统 / 啜钢等编著. -- 4 版. -- 北京:北京邮电大学出版社, 2019. 8

ISBN 978-7-5635-5815-5

I. ①移… II. ①啜… III. ①移动通信—通信系统—高等学校—教材 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 169411 号

书 名: 移动通信原理与系统(第 4 版)

著作责任者: 啜 钢 王文博 常永宇 全庆一 高伟东 编著

责任编辑: 王晓丹

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(100876)

发行部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 保定市中华美凯印刷有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 23

字 数: 612 千字

版 次: 2005 年 9 月第 1 版 2009 年 2 月第 2 版 2015 年 2 月第 3 版 2019 年 8 月第 4 版
2019 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-5815-5

定 价: 55.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

前 言

本书是2009年出版的“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”的第4版。第3版于2015年出版,至今也已经有4年的时间了,在这短短几年的时间里移动通信技术已经发展为以4G网络为主要支撑网。5G的第一个标准也已经通过,测试工作已经广泛展开,并取得了阶段性的成果。

面对这样的发展,我们不得不再一次较大规模修改本书原有的章节,力求使我们的教材赶上移动通信发展的脚步。

具体而言,本次修订的教材在以下几个方面做了修改和内容增加:

- (1) 对第1章的内容做了必要的修改,进一步完善了移动通信系统发展的介绍;
- (2) 将原第6章中的GPRS和EDGE技术删除,并将原第7章的部分内容合并到第6章,形成新的第6章GSM和CDMA系统;
- (3) 第7章在原来LTE系统的基础上增加了LTE-A系统的概念和关键技术,重点增加了LTE-A载波聚合技术和中继技术;
- (4) 增加了第8章5G系统的基础和关键技术;
- (5) 增加了第9章移动通信新技术应用。

本书修订后的主要内容包括:移动通信的发展、蜂窝移动通信系统的基本概念、移动通信的无线传播环境、信源编码和调制技术、抗衰落和链路性能增强技术、蜂窝组网技术、GSM及CDMA移动通信系统、第四代LTE/LTE-A移动通信系统、第五代移动通信系统以及移动通信新技术应用等。

本书的第1章由王文博和啜钢编写;第2章和第5章由啜钢编写;第6章由啜钢和全庆一编写;第3章和第4章由常永宇编写;第7章由常永宇、啜钢、全庆一和高伟东编写;第8章和第9章由高伟东编写。

本书是面向电子、信息与通信工程专业本科高年级学生使用的教材。在编写过程中考虑到对移动通信与系统教材的广泛需求,兼顾了研究生和成人教育,因此也可以有选择地作为研究生和成人教育教材。

由于作者才疏学浅,书中难免会出现一些错误和不妥之处,敬请批评指正。

啜钢于北京邮电大学
2019年5月

第 1 版前言

近年来,蜂窝移动通信系统的发展经历了一个从模拟网到数字网,从频分多址(FDMA)到时分多址(TDMA)和码分多址(CDMA)的过程。这种进展是日新月异的,目前我国的蜂窝移动通信系统已经基本结束了模拟网的历史,进入了数字网的时代。进入 21 世纪人们在继续关注第二代蜂窝移动通信系统发展的同时,已经把目光转向第三代蜂窝移动通信系统的产品开发和大量投入商用的网络准备工作。与此同时许多专家学者和移动通信产业界的有识之士,又在积极研究和开发第四代蜂窝移动通信系统。这些都无疑预示着 21 世纪蜂窝移动通信将会有更大的发展,并将继续成为在通信行业发展最活跃、发展最快的邻域之一。

鉴于这种情况,我们在参考大量文献并结合多年的研究开发移动通信的理论和应用系统的基础上,编写了这本以数字移动通信为主体的移动通信教材,力图将当前移动通信的最新理论和应用介绍给读者。

本书较详细地介绍了移动通信的原理和实际的应用系统,其主要内容有:移动通信的发展、蜂窝移动通信系统的基本概念、移动通信的无线传播环境、移动通信系统的调制技术、抗衰落技术、移动通信的组网技术、GSM 系统和 GPRS 系统、CDMA 系统和 cdma2000 1x 系统以及 WCDMA 和 TD-SCDMA 技术。最后对移动通信的发展做了展望。

本书的第 1 章、第 2 章、第 5 章和第 6 章由啜钢副教授编写;第 3 章、第 4 章由李宗豪副教授编写;第 7 章、第 9 章由常永宇副教授和啜钢副教授编写;第 8 章、第 10 章由常永宇副教授编写;第 11 章、第 12 章由王文博教授、彭涛和郑侃编写。

全书由啜钢副教授负责审定。

本书是为通信专业本科高年级学生使用的教材,但编写过程中我们考虑到社会上对移动通信与系统教材的广泛需求,因此也兼顾了研究生和成人教育的需求,所以本书也可以有选择地作为研究生和成人教育教材。

由于作者才疏学浅,书中难免会出现一些错误和不妥之处,敬请批评指正。

啜钢于北京邮电大学

第 2 版前言

20 世纪人类最伟大的科技成果之一就是蜂窝移动通信,它的飞速发展是超乎寻常的。蜂窝移动通信系统的发展经历了一个从模拟网到数字网,从频分多址(FDMA)到时分多址(TDMA)和码分多址(CDMA)的过程。这种进展是日新月异的。进入 21 世纪,人们在继续关注第二代蜂窝移动通信系统发展的同时,已开始将第三代蜂窝移动通信系统投入商用。与此同时,许多专家学者和移动通信产业界又在积极研究和开发第三代移动通信后续新的技术和系统。

伴随着移动通信技术的发展,各种介绍移动通信的专著和教材也层出不穷,然而适合信息通信专业或相关专业大学本科教学的教材还不是很多。鉴于这种情况,我们于 2002 年出版了《移动通信原理与应用》教材。此后,我们始终关注移动通信的教育如何紧跟移动通信的发展。2005 年我们在总结原有教材的基础上结合科研和教学成果重新修订了《移动通信原理与应用》教材,出版《移动通信原理与系统》高校本科教材。此教材已被评为北京市精品教材,同时,2006 年又被评为了普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

在本次再版中我们又对原教材进行大量的修订,压缩了原教材的一些篇幅,增加了对一些新理论和技术的介绍,力图将当前移动通信的最新理论和应用介绍给读者。具体表现在:①相对于原教材,增加了信源编码、高阶调制技术、多天线和空时编码以及链路性能技术的介绍;②增加了增强型数据速率 GSM 演进技术(EDGE)的介绍;③重新编排了蜂窝组网技术和 3G 网络技术的内容,将一些带有共性的技术放到了蜂窝组网章节介绍,从而减少了重复,也减少了篇幅;④对当前的最新研究热点问题作了适当的介绍。

本书主要内容包括:移动通信的发展、蜂窝移动通信系统的基本概念、移动通信的无线传播环境、信源编码和调制技术、抗衰落和链路性能增强技术、蜂窝组网技术、GSM 及其增强移动通信系统、第三代移动通信系统及其增强技术和无线移动通信未来发展等。

本书的第 1 章、第 2 章、第 5 章和第 6 章由啜钢副教授编写;第 3 章、第 4 章由常永宇教授编写;第 7 章由全庆一副教授编写;第 8 章由王文博教授编写。

本书是面向信息通信专业本科高年级学生使用的教材。在编写过程中,我们同时考虑到对移动通信与系统教材的广泛需求,兼顾了研究生和成人教育,因此也可以有选择地作为研究生和成人教育教材。

由于作者才疏学浅,书中难免会出现一些错误和不妥之处,敬请批评指正。

啜钢于北京邮电大学

第3版前言

本书是2009年出版的普通高等教育“十一五”国家级规划教材的修订版。自2009年到现在五年多的时间里,移动通信理论和实际系统都发生了飞跃式发展。具体体现在MIMO和OFDM的理论已经成熟并用于大规模实际商用移动通信系统,同时协作通信的理论和技術、认知无线电的理论和技術以及大规模天线阵的理论也得到了迅猛的发展;另外,LTE系统(即所谓的4G系统)已经商用,在此基础上的LTE-A协议版本已经成熟,5G已经从原来的概念原型逐步走向实际,众多的专家学者已经在这一领域取得了可喜的成果,相信在不久的将来,LTE-A和5G必将成为新一代移动通信系统呈现在人们的面前。鉴于此,我们对原来的教材进行了较大规模的修订,我们的目标是在保留基本理论和技術的同时尽可能地為读者展示新的理论和技術。

具体而言本次修订的教材在以下几个方面作了修改和内容增加:

- (1) 对第1章的内容作了必要的修改,进一步完善了移动通信系统发展的介绍;
- (2) 删除了第2章中模型矫正等内容,增加了MIMO无线信道的理论分析和建模介绍;
- (3) 在第5章将功率控制和切换技术删除、移植到了第7章,并增加了随机接入和无线资源管理以及LTE网络等内容的介绍;
- (4) 第7章重点介绍3G的物理层、功率控制和切换技术;
- (5) 增加了第8章LTE系统的介绍;
- (6) 第9章给出了未来移动通信的发展,特别是LTE-A和5G的一些相关技术简介。

本书修订后的主要内容包括:移动通信的发展、蜂窝移动通信系统的基本概念、移动通信的无线传播环境、信源编码和调制技术、抗衰落和链路性能增强技术、蜂窝组网技术、GSM及其增强移动通信系统、第三代移动通信系统及其增强技术、第四代LTE移动通信系统介绍以及无线移动通信未来发展等。

本书的第1章、第9章由王文博教授编写;第2章、第5章和第6章由啜钢教授编写;第3章、第4章和第8章由常永宇教授编写;第7章由全庆一副教授编写。

本书是面向电子、信息与通信工程专业本科高年级学生使用的教材。在编写过程中同时考虑到对移动通信与系统教材的广泛需求,兼顾了研究生和成人教育,因此也可以有选择地作为研究生和成人教育教材。

由于作者才疏学浅,书中难免会出现一些错误和不妥之处,敬请批评指正。

啜钢于北京邮电大学

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 移动通信发展简述	1
1.2 移动通信的特点	3
1.3 移动通信工作频段	5
1.3.1 我国移动通信的工作频段	5
1.3.2 第三代移动通信的工作频段	5
1.3.3 第四代移动通信(4G)的频率划分	7
1.3.4 第五代移动通信(5G)的频率划分	7
1.4 移动通信的工作方式	7
1.5 移动通信的分类及应用系统	9
1.6 移动通信网的发展趋势	11
1.7 本书的内容安排	12
习题与思考题	12
本章参考文献	13
第 2 章 移动通信电波传播与传播预测模型	14
2.1 概述	14
2.1.1 电波传播的基本特性	14
2.1.2 电波传播特性的研究	16
2.2 自由空间的电波传播	17
2.3 3 种基本电波传播机制	18
2.3.1 反射与多径信号	18
2.3.2 绕射	20
2.3.3 散射	21
2.4 对数距离路径损耗模型	22
2.5 阴影衰落	22
2.6 移动无线信道及特性参数	23
2.6.1 多径衰落的基本特性	23
2.6.2 多普勒频移	23
2.6.3 多径信道的信道模型	24
2.6.4 描述多径信道的主要参数	25
2.6.5 多径信道的统计分析	31
2.6.6 多径衰落信道的分类	35

2.6.7	衰落特性的特征量	36
2.6.8	衰落信道的建模与仿真简介	37
2.7	MIMO 信道	40
2.7.1	分析模型	40
2.7.2	物理模型	42
2.8	电波传播损耗预测模型	49
2.8.1	室外传播模型	49
2.8.2	室内传播模型	56
	习题与思考题	57
	本章参考文献	58
第3章	移动通信中的信源编码和调制解调技术	59
3.1	概述	59
3.2	信源编码	61
3.2.1	信源编码的基本概念	61
3.2.2	移动通信中的信源编码	62
3.2.3	移动通信中的信源编码举例	63
3.3	最小移频键控	65
3.3.1	相位连续的FSK	65
3.3.2	MSK信号的相位路径、频率及功率谱	68
3.4	高斯最小移频键控	69
3.4.1	高斯滤波器的传输特性	69
3.4.2	GMSK信号的波形和相位路径	71
3.4.3	GMSK信号的调制与解调	72
3.4.4	GMSK功率谱	74
3.5	QPSK调制	75
3.5.1	二相调制BPSK	75
3.5.2	四相调制QPSK	76
3.5.3	偏移QPSK——OQPSK	79
3.5.4	$\pi/4$ -QPSK	80
3.6	高阶调制	83
3.6.1	数字调制的信号空间原理	83
3.6.2	M 进制数字调制以及高阶调制	84
3.6.3	高阶调制在3G、4G中的应用	89
3.7	正交频分复用	89
3.7.1	概述	89
3.7.2	正交频分复用的原理	90
3.7.3	正交频分复用的DFT实现	91
3.7.4	OFDM的应用	93
	习题与思考题	94
	本章参考文献	95

第 4 章 抗衰落和链路性能增强技术	96
4.1 概述	96
4.2 分集接收技术	97
4.2.1 宏观分集	97
4.2.2 微观分集的类型	98
4.2.3 分集的合并方式及性能	100
4.2.4 性能比较	106
4.2.5 分集对数字移动通信误码的影响	106
4.3 信道编码与交织	108
4.3.1 概述	108
4.3.2 分组码	108
4.3.3 卷积码	111
4.3.4 Turbo 码	116
4.3.5 交织技术	119
4.4 均衡技术	120
4.4.1 基本原理	120
4.4.2 非线性均衡器	123
4.4.3 自适应均衡器	126
4.5 扩频通信	128
4.5.1 伪噪声序列	129
4.5.2 扩频通信原理	131
4.5.3 抗多径干扰和 RAKE 接收机	135
4.5.4 跳频扩频通信系统	137
4.6 多天线和空时编码	139
4.6.1 多天线技术	139
4.6.2 空时编码技术	142
4.7 链路自适应技术	146
4.7.1 自适应调制编码	147
4.7.2 混合自动请求重传	149
习题与思考题	152
本章参考文献	153
第 5 章 蜂窝组网技术	155
5.1 移动通信网的基本概念	155
5.2 频率复用和蜂窝小区	156
5.3 多址接入技术	159
5.4 码分多址关键技术	165
5.4.1 扩频通信基础	165
5.4.2 地址码技术	171
5.4.3 扩频码的同步	174

5.5	切换、位置更新	178
5.5.1	切换技术	178
5.5.2	位置更新	181
5.6	无线资源管理技术	181
5.6.1	概述	181
5.6.2	接纳控制	182
5.6.3	动态信道分配	184
5.6.4	负载控制	185
5.6.5	分组调度	186
5.6.6	LTE 系统的分组调度	188
5.7	移动通信网络结构	192
	习题与思考题	199
	本章参考文献	199
第6章	GSM 系统和 CDMA 系统	201
6.1	GSM 系统的业务及其特征	201
6.2	GSM 系统的结构	205
6.3	GSM 系统的信道	206
6.3.1	物理信道与逻辑信道	206
6.3.2	物理信道与逻辑信道的配置	210
6.3.3	突发脉冲	214
6.3.4	帧偏离、定时提前量与半速率信道	215
6.4	GSM 的无线数字传输	216
6.4.1	GSM 系统无线信道的衰落特性	216
6.4.2	GSM 系统中的抗衰落技术	218
6.4.3	GSM 系统中的语音编码技术	223
6.4.4	GSM 系统中语音处理的一般过程	223
6.5	GSM 的信令协议	223
6.5.1	GSM 信令系统的基本概念	224
6.5.2	GSM 系统的协议模型	231
6.5.3	GSM 无线信令接口的三层协议	233
6.6	接续和移动性管理	235
6.6.1	概述	235
6.6.2	位置更新	236
6.6.3	呼叫建立过程	238
6.6.4	越区切换与漫游	244
6.6.5	安全措施	246
6.6.6	计费	249
6.7	cdma2000 1x 标准介绍	249
6.7.1	cdma2000 1x 使用的序列	250
6.7.2	cdma2000 1x 前向链路	252

6.7.3	cdma2000 1x 反向链路	261
6.7.4	cdma2000 1x EV-DO 介绍	264
6.8	cdma2000 1x 系统中的功率控制技术	265
6.8.1	上行开环功率控制	265
6.8.2	上行闭环功率控制	266
6.8.3	下行快速功率控制	268
6.9	cdma2000 1x 系统中的切换	270
6.9.1	软切换	271
6.9.2	硬切换	273
6.9.3	空闲切换	274
6.9.4	接入切换	275
	习题与思考题	275
	本章参考文献	276
第 7 章	第四代移动通信系统——LTE 及 LTE-Advanced	277
7.1	LTE 的基本概念和技术	277
7.1.1	概述	277
7.1.2	LTE 需求	278
7.1.3	LTE 关键技术	283
7.2	LTE 系统的网络结构	286
7.2.1	网络架构	286
7.2.2	空中接口协议	291
7.3	LTE 系统的链路结构	298
7.3.1	LTE 系统的帧结构	298
7.3.2	物理信道	299
7.4	LTE-Advanced 介绍	306
7.5	载波聚合技术	307
7.5.1	载波聚合简介	307
7.5.2	载波聚合部署场景	308
7.5.3	载波聚合关键技术	309
7.6	中继技术	311
7.6.1	概述	311
7.6.2	中继分类	312
7.6.3	LTE-A 中继系统中的中继时隙配置	313
7.6.4	协作中继技术	316
	习题与思考题	319
	本章参考文献	319
第 8 章	第五代移动通信	321
8.1	5G 移动通信概述	321
8.1.1	概述	321

8.1.2	5G 应用场景	322
8.1.3	5G 技术需求	323
8.2	5G 移动通信关键技术	324
8.2.1	5G 空口关键技术	324
8.2.2	5G 网络关键技术	327
8.3	5G 移动通信发展趋势	332
	习题与思考题	333
	本章参考文献	333
第9章	移动通信新技术应用	334
9.1	概述	334
9.2	移动通信新技术应用	334
9.2.1	物联网	334
9.2.2	车联网(V2X)	342
9.2.3	工业互联网	345
9.2.4	无人机通信	346
9.3	移动通信技术发展趋势	349
	习题与思考题	349
	本章参考文献	350
附录	话务量和呼损简介	351

第 1 章 概 述

学习重点和要求

本章主要介绍移动通信原理及其应用方面的基本概念,主要包括移动通信发展进程、移动通信的特点、移动通信的工作频段、移动通信的工作方式、移动通信的应用系统和移动通信的发展趋势等。

要求:

- 重点掌握移动通信的概念、特点;
- 理解移动通信的发展历程及发展趋势;
- 了解无线频谱的规划及移动通信的工作频段;
- 掌握移动通信的 3 种工作方式;
- 了解移动通信的应用系统。

1.1 移动通信发展简述

当今的社会已经进入了信息化的社会,没有信息的传递和交流,人们就无法适应现代化快节奏的生活和工作。人们总是期望随时随地、及时可靠、不受时空限制地进行信息交流,提高生活水平和工作效率。

20 世纪 90 年代,通信领域专家提出的个人通信(personal communications)是人类通信的最高目标,它是用各种可能的网络技术实现任何人(whoever)在任何时间(whenever)、任何地点(whenever)与任何人(whoever)进行任何种类(whatever)的信息交换。移动通信的发展主要是其能够满足人们在任何时间、任何地点与任何个人进行通信的愿望。移动通信网随时跟踪用户并为其服务,不论主叫或被叫的用户是在车、船、飞机上,还是在办公室、家、公园里,都能够获得其所需要的通信服务。移动通信是指通信双方或至少有一方处于运动中进行信息交换的通信方式。移动通信的主要应用系统有无绳电话、无线寻呼、陆地蜂窝移动通信和卫星移动通信等。而陆地蜂窝移动通信是当今移动通信发展的主流和热点,是解决大容量、低成本公众需求的主要系统。

蜂窝移动通信的飞速发展是超乎寻常的,它是 20 世纪人类最伟大的科技成果之一。1946 年美国 AT&T 公司推出第一个移动电话,为通信领域开辟了一个崭新的发展空间。20 世纪 70 年代末各国陆续推出蜂窝移动通信系统,移动通信真正走向广泛的商用,逐渐为广大普通民众所使用。蜂窝移动通信系统从技术上解决了频率资源有限、用户容量受限和无线电波传输时的相互干扰等问题。

20 世纪 70 年代末的蜂窝移动通信采用的空中接入方式为频分多址接入(FDMA,

Frequency Division Multiple Access)方式,其传输的信号为模拟量,因此人们称此时的移动通信系统为模拟通信系统,也称为第一代移动通信系统(1G)。这种系统的典型代表有美国的 AMPS(Advanced Mobile Phone System)、欧洲的 TACS(Total Access Communication System)等。我国建设移动通信系统的初期主要就是引入这两类系统。

然而随着移动通信市场的不断发展,对移动通信技术提出了更高的要求。由于模拟系统本身的缺陷,如频谱效率低、网络容量有限和保密性差等,使得模拟系统已无法满足人们的需求。为此在 20 世纪 90 年代初期北美和欧洲相继开发出了基于数字通信的移动通信系统,即所谓的数字蜂窝移动通信系统,也称为第二代移动通信系统(2G)。

第二代数字蜂窝移动通信系统克服了模拟系统所存在的许多缺陷,因此 2G 系统一经推出就倍受人们关注,得到了迅猛的发展。短短的十几年就成为世界范围内最大的移动通信网,完全取代了模拟移动通信系统。在当今的数字蜂窝移动系统中,最有代表性的是 GSM(Global System for Mobile Communications)系统,其占据着全球移动通信市场的主要份额。

GSM 是为了解决欧洲第一代蜂窝系统四分五裂的状态而发展起来的。在 GSM 之前,欧洲各国在整个欧洲大陆上采用了不同的蜂窝标准,对用户来讲,就不能用一种制式的移动台在整个欧洲进行通信。另外由于模拟网本身的弱点,使得它的容量也受到了限制。为此欧洲电信联盟在 20 世纪 80 年代初期就开始研制一种覆盖全欧洲的移动通信系统,即 GSM 系统。如今 GSM 移动通信系统已经遍及全世界,即所谓“全球通”。

GSM 系统的空中接口采用的是时分多址(TDMA, Time Division Multiple Access)的接入方式,话音通信过程中不同用户分配不同时隙。基于话音业务的移动通信网已经基本满足人们对于话音移动通信的需求,但是随着人们对数据通信业务的需求日益增长,特别是 Internet 的发展大大推动了人们对数据业务的需求。在这种情况下,移动通信网所提供的以话音为主的业务已不能满足人们的需要,为此移动通信行业开始开发研究适用于数据通信的移动系统。首先人们着手开发的是基于 2G 系统的数据系统,在不大量改变 2G 系统的条件下,适当增加一些网络单元和一些适合数据业务的协议,使系统可以较高效率地传送数据业务。如在 GSM 网络上进行增强的 GPRS 和 EDGE 就是这样的系统,也称为 2.5G 系统。

尽管 2.5G 系统可以方便地传输数据业务,但没有从根本上解决无线信道传输速率低的问题,因此应该说 2.5G 还是个过渡产品。20 世纪 90 年代中期人们定义的第三代移动通信系统(3G)才能基本达到人们对快速传输数据业务的需求。

3G 系统在国际电信联盟(ITU)标准化中被称为 IMT-2000,它的目标主要有以下几个方面。

(1) 全球漫游,以低成本的多模手机来实现。全球具有公用频段,用户不再限制于一个地区和一个网络,而能在整个系统和全球漫游。在设计上具有高度的通用性,拥有足够的系统容量和强大的多种用户管理能力,能提供全球漫游,是一个覆盖全球的、具有高度智能和个人服务特色的移动通信系统。

(2) 适应多种环境,采用多层小区结构,即微微蜂窝、微蜂窝、宏蜂窝,将地面移动通信系统和卫星移动通信系统结合在一起,与不同网络互通,提供无缝漫游和业务一致性,网络终端具有多样性,并与第二代系统共存和互通,开放结构,易于引入新技术。

(3) 能提供高质量的多媒体业务,包括高质量的话音、可变速率的数据、高分辨率的图像等多种业务,实现多种信息一体化。

(4) 足够的系统容量、强大的多种用户管理能力、高保密性能和服务质量。用户可用唯一个人电信号码(PTN)在任何终端上获取所需要的电信业务,这就超越了传统的终端移动性,真正实现了个人移动性。

3G 的标准都是以 CDMA 为核心技术,主要包括:欧洲的 WCDMA、北美的 cdma2000 和中国的 TD-SCDMA 三个标准。

随着移动通信需求的不断增长以及新技术在移动通信中的广泛应用,促使移动网络迅速发展。移动网络由单纯的传递和交换信息,逐步向信息存储和智能化处理等高速数据应用发展,高速移动数据的需求进一步推动了 3G 技术的演进,包括 HSDPA、HSUPA、HSPA 和 HSPA+ 等技术应运而生,使 3G 移动网络接入的数据速率可以达到每秒几兆比特到每秒十几兆比特,并在实际网络中得到应用。

近几年来,随着宽带业务的发展,人们希望获得更大带宽的数据速率,传输更高速的多媒体数据,更灵活的网络架构,更小的接入时延。第三代移动通信标准化组织(3GPP)提出了基于正交频分复用和多人多出天线技术开发的准第四代移动通信系统,即第三代移动通信的长期演进技术(3G LTE),其主要特点是在 20 MHz 频谱带宽下能够提供下行 100 Mbit/s 与上行 50 Mbit/s 的峰值速率,相对于 3G 网络大幅度地提高了小区的容量,同时将网络延迟大大降低:内部单向传输时延低于 5 ms,控制平面从睡眠状态到激活状态迁移时间低于 50 ms,从驻留状态到激活状态的迁移时间小于 100 ms。

3GPP 提出的 LTE-Advanced 是 3G LTE 技术的升级版,它满足 ITU-R 的 IMT-Advanced 技术征集的需求。LTE-Advanced 是一个后向兼容的技术,完全兼容 LTE,是演进而不是革命,LTE-Advanced 就是 LTE 技术的升级版。它的技术特性包括:100 MHz 带宽,下行 1 Gbit/s 与上行 500 Mbit/s 的峰值速率,下行 $30 \text{ (bit/s)} \cdot \text{Hz}^{-1}$,上行 $15 \text{ (bit/s)} \cdot \text{Hz}^{-1}$ 的峰值频谱效率,有效支持新频段、离散频段和大带宽应用等。

当前 LTE 已经投入商用,LTE-A 的部分技术也已经用到了商用网络上。人们将 LTE/LTE-A 统称为 4G。

第五代移动通信系统(即 5G)正在如火如荼地发展。2018 年 6 月,3GPP 正式发布了第一个版本的 5G 标准,规范了基本的网络架构。5G 网络架构具体方案、无线传输关键技术等内容还需要在新版标准中定义和完成。按照 3GPP 标准组织的时间规划,预计 2020 年向国际电信联盟(ITU)提交最终的 5G 完整标准。不过设备制作商和运营商已开始进行 5G 系统的测试,已取得了阶段性成果。

1.2 移动通信的特点

移动通信的传输手段依靠无线电通信,因此,无线电通信是移动通信的基础,而无线通信技术的发展不断推动移动通信的发展。当移动体与固定体之间通信联系时,除依靠无线通信技术外,还依赖于有线通信网络技术,例如,公众电话网(PSTN)、公众数据网(PDN)、综合业务数字网(ISDN)。移动通信的主要特点如下。

1. 移动通信利用无线电波进行信息传输

移动通信中基站至用户终端间必须靠无线电波来传送信息。由于陆地无线传播环境十分

复杂导致了无线电波传播特性较差,传播的电波一般都是直射波和随时间变化的绕射波、反射波、散射波的叠加,造成所接收信号的电场强度起伏不定,最大可相差几十分贝,这种现象称为衰落。另外,移动台不断运动,当达到一定速度时,固定点接收到的载波频率将随运动速度 v 的不同,产生不同的频移,即产生多普勒效应,使接收点的信号场强振幅、相位随时间、地点而不断地变化,会严重影响通信传输的质量。这就要求在设计移动通信系统时,必须采取抗衰落措施,保证通信质量。

2. 移动通信在强干扰环境下工作

在移动通信系统中,除了一些外部干扰(如源于城市噪声、各种车辆发动机点火噪声、微波炉干扰噪声等),自身还会产生各种干扰。主要的干扰有互调干扰(Intermodulation Interference)、邻道干扰(Adjacent Channel Interference)及同频干扰(Cochannel Interfere)等。因此,无论在系统设计中,还是在组网时,都必须对各种干扰问题予以充分的考虑。

(1) 互调干扰

互调干扰是指两个或多个信号作用在通信设备的非线性器件上,产生与有用信号频率相近的组合频率,从而对通信系统构成干扰的现象。产生互调干扰的原因是由于在接收机中使用“非线性器件”引起的。如接收机的混频,当输入回路的选择性不好时,就会使不少干扰信号随有用信号一起进入混频级,最终形成对有用信号的干扰。

(2) 邻道干扰

邻道干扰是指相邻或邻近的信道(或频道)之间的干扰,是由于一个强信号串扰弱信号而造成的干扰。如有两个用户距离基站位置差异较大,且这两个用户所占用的信道为相邻或邻近信道时,距离基站近的用户信号较强,而距离远的用户信号较弱,因此,距离基站近的用户有可能对距离远的用户造成干扰。为解决这个问题,在移动通信设备中,使用了自动功率控制电路,以调节发射功率。

(3) 同频干扰

同频干扰是指相同载频电台之间的干扰。由于蜂窝式移动通信采用同频复用来规划小区,这就使系统中相同频率电台之间的同频干扰成为其特有的干扰。这种干扰主要与组网方式有关,在设计和规划移动通信网时必须予以充分的重视。

3. 通信容量有限

频率作为一种资源必须合理安排和分配。由于适于移动通信的频段是有限的,所以在有限的频段内通信容量也是有限的。为满足用户需求量的增加,只能在有限的频段中采取有效利用频率措施(如窄带化、缩小频带间隔、频道重复利用和多天线技术等方法)来解决。

4. 通信系统复杂

由于移动台在通信区域内随时运动,需要随机选用无线信道进行频率和功率控制,还需要使用地址登记、越区切换及漫游存取等跟踪技术,这就使其信令种类比固定网要复杂得多。在入网和计费方式上也有特殊的要求,所以移动通信系统是比较复杂的。

5. 对移动台的要求高

移动台长期处于不固定位置状态,外界的影响很难预料,如尘土、振动、碰撞、日晒雨淋,这就要求移动台具有很强的适应能力。此外,还要求移动台性能稳定可靠、携带方便、小型、低功耗及能耐高低温等。同时,为了尽量使用户操作方便,移动台还要适应新业务、新技术的发展,以满足不同人群的使用。目前智能化终端已占据移动通信终端的主流市场。